Détecteurs semi-conducteurs @ LAL

Nicoleta Dinu

Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire, Orsay

Outline

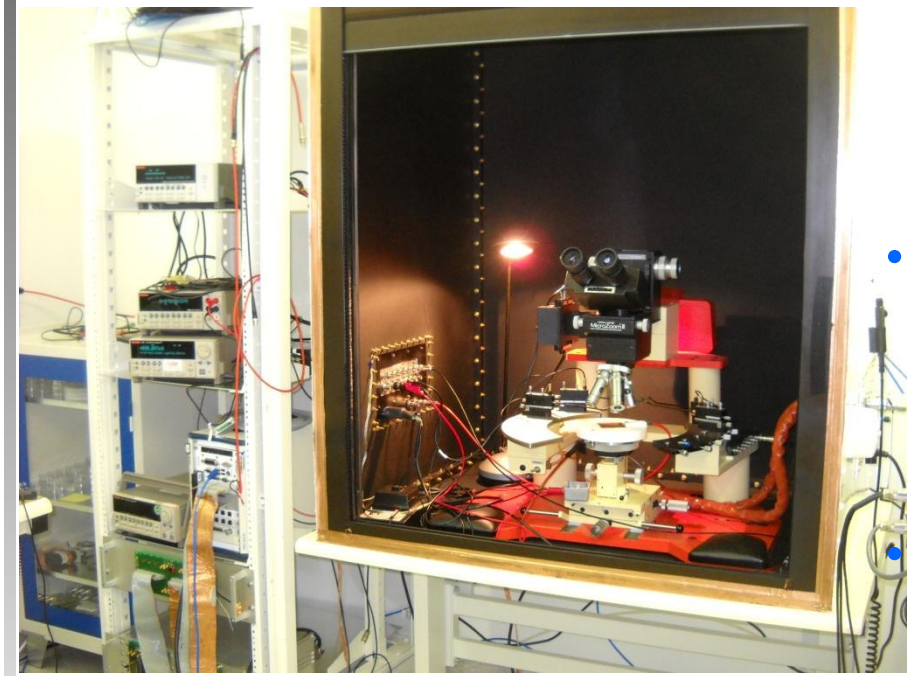
- Capteurs pixels planaires au silicium
  - physique des hautes énergies
- Capteurs diamant
  - physique des accélérateurs
- Capteurs Silicium PhotoMultiplicateurs (SiPM)
  - outils d'analyse pour la physique des semi-conducteurs
  - application dans l'imagerie médicale

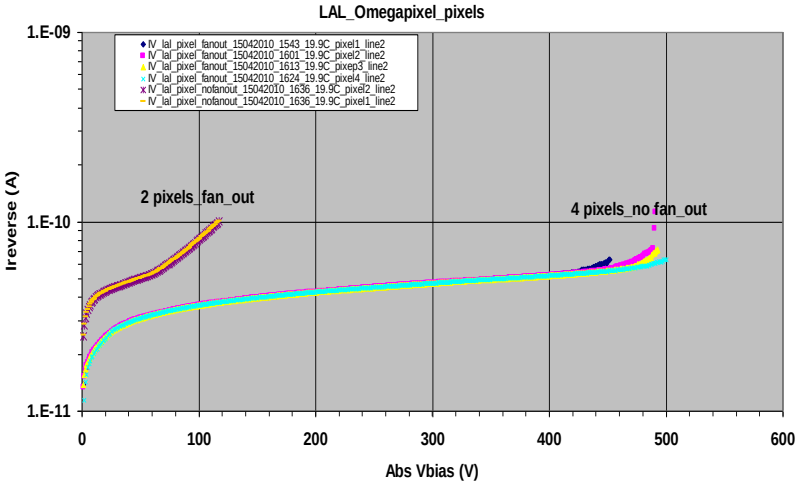
Capteurs pixels planaires

- R&D pour une nouvelle génération de capteurs pixels:
  - très haute résolution spatiale (<35x200µm^2)
  - très fin (100µm épaisseur)
  - durcis aux irradiations (2x10^{16} 1 MeV n_{eq})
  - zones inactives très réduites (50µm)
    - Upgrade du détecteurs de vertex d'ATLAS pour HL-LHC
      - Phase 0 – New B-layer (IBL – 2013-2014)
        - Capteurs pixels n-in-n + commissioning & integration
      - Phase II (2022)
        - Capteurs pixels n-in-p & n-in-n
  - Etroite collaboration avec deux fondeurs
    - CiS, Erfurt, Allemagne
    - VTT, Finlande
- Technologie d'intégration en 3 dimensions:
  - Capteurs pixels au silicium et deux ou trois couches de circuits intégrés sur la même puce (150 µm épaisseur)
  - Circuits intégrés conçu par le Pôle Omega (LAL)

Outils expérimentaux pour la caractérisation des pixels (1)

Salle blanche au LAL (1)





- Salle blanche:
  - 17 m^2
  - class 100000 (Bat. 208, salle 117a)
  - Contrôle de température (~20°C) et humidité (< 50%)
- Station sous pointes pour tests DC
  - Cage Faraday – home made
  - connections avec câbles triaxiaux
  - Mesures en température avec un chuck développé au LAL: (-10°C à +30°C)
- Instruments pour la caractérisation des semi-conducteurs
  - Keithley electrometer 6517B
  - Keithley source-meter 2410 & 2612
  - Agilent LCR meter E4980A
  - Mesures DC bas bruit (courants pA, capacités fF)
- Logiciels pour tests automatiques
  - IV, CV, potential GR, capacités interpixel

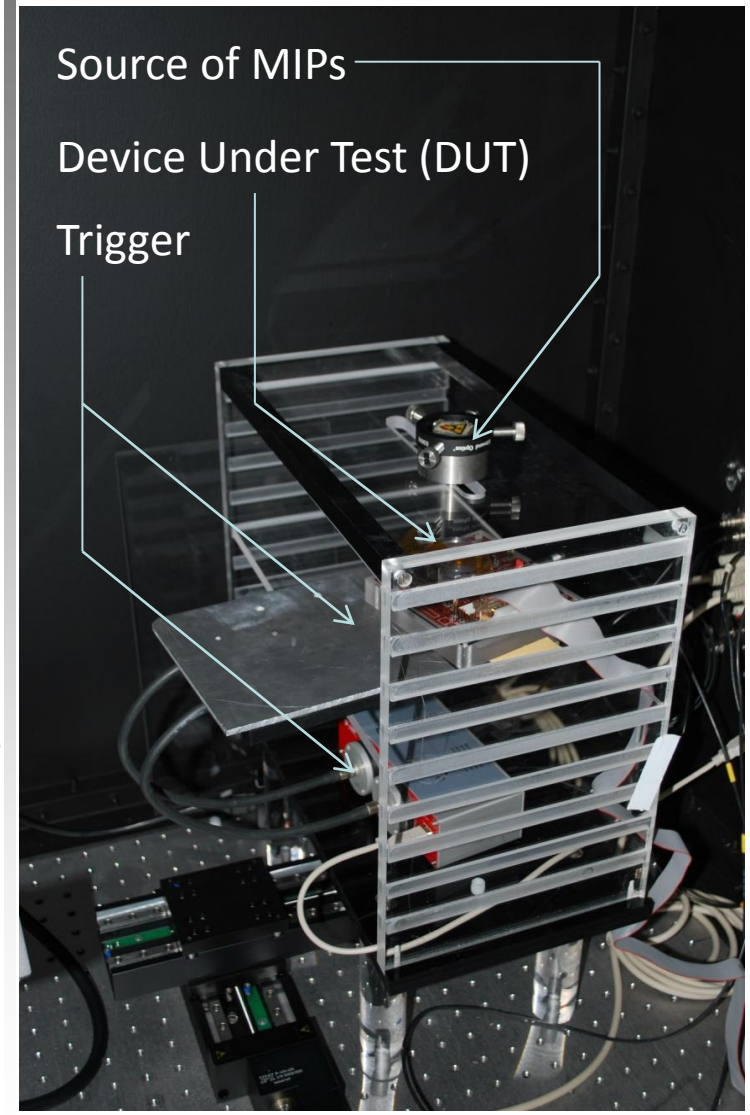
Outils expérimentaux pour la caractérisation des pixels (2)

Système de refroidissement Hubber
Cycles thermiques: -30°C à +40°C

- Chambre climatique
- Pompes à vide
  - Primary vacuum VARIAN SH6110
  - Turbo pump TMH261

Outils expérimentaux pour la caractérisation des pixels (3)

Salle blanche au LAL (2)



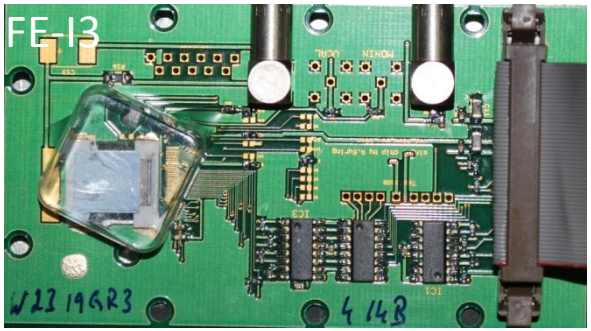
- Banc de test pour la mesure de l'efficacité de collection de charge

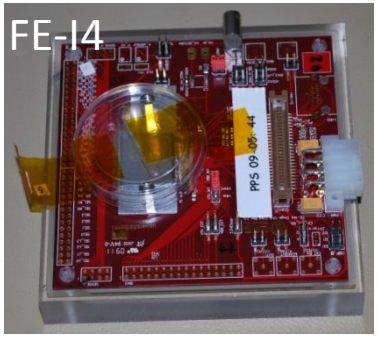
➢ Sources de MIPs
  - Source radioactive de rayonnements beta: ^{90}Sr (1.3MBq; rate of 50000 beta/s)
  - Laser: 1060 nm (infrarouge); $E\gamma$=1.17eV ($E_{gap\ Si}$ =1.12eV; profondeur de pénétration ~800µm)

➢ Banc optique; tables de translation (résolution µm)

➢ Device Under Tests (diodes irradiées, capteurs pixels connectés aux puces FEI3, FEI4)

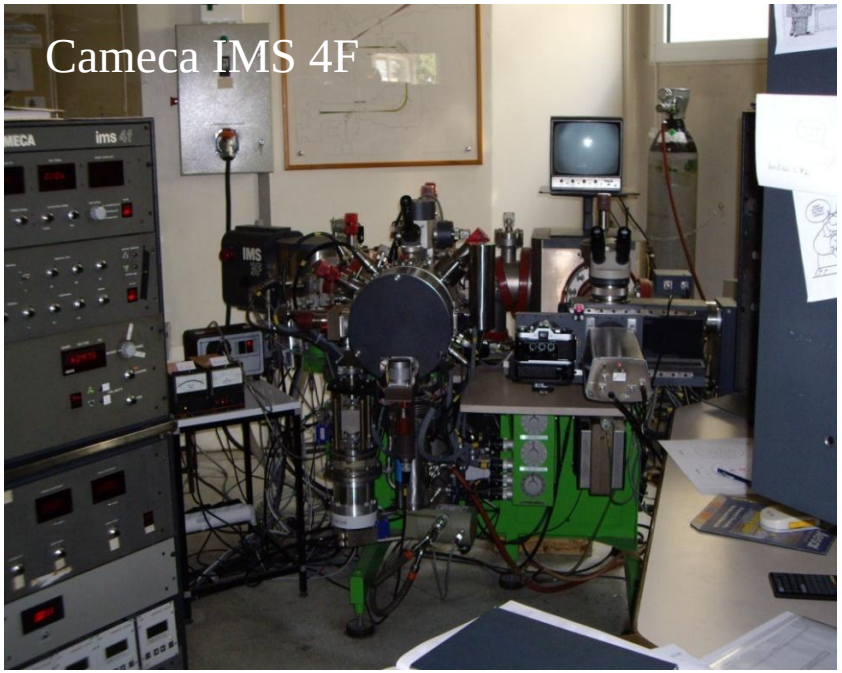
➢ Système de trigger
  - Scintillateur plastique avec WSF pour la collection des photons
  - Deux capteurs SiPM's + système de coïncidence.



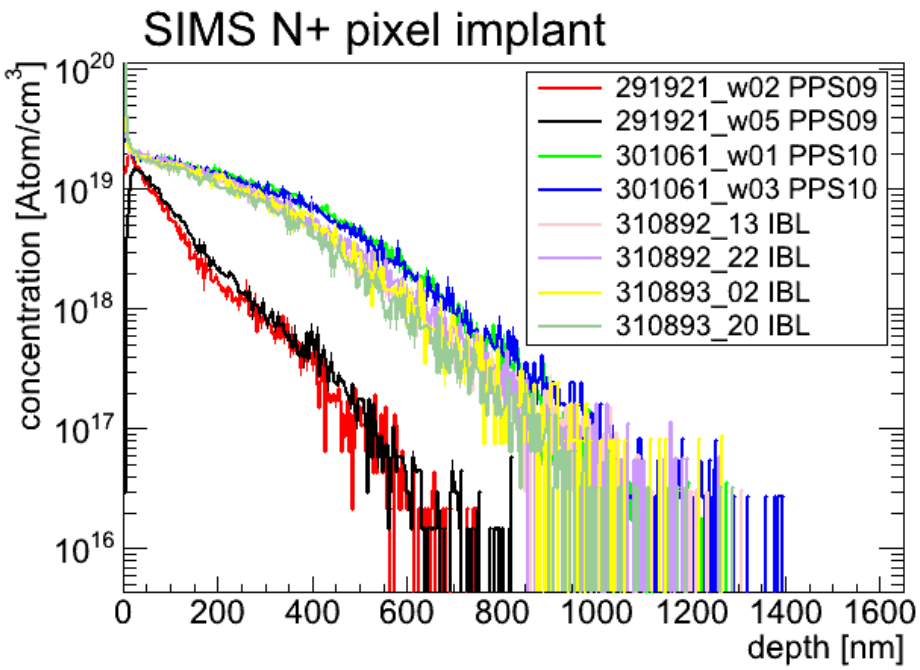


Outils expérimentaux pour la caractérisation des pixels (4)

- Méthodes expérimentales en collaboration avec d'autres laboratoires
  - Secondary Ion Mass Spectrometry (SIMS) - profils de dopage en profondeur



- Collaboration avec le laboratoire GEMaC, Université de Versailles

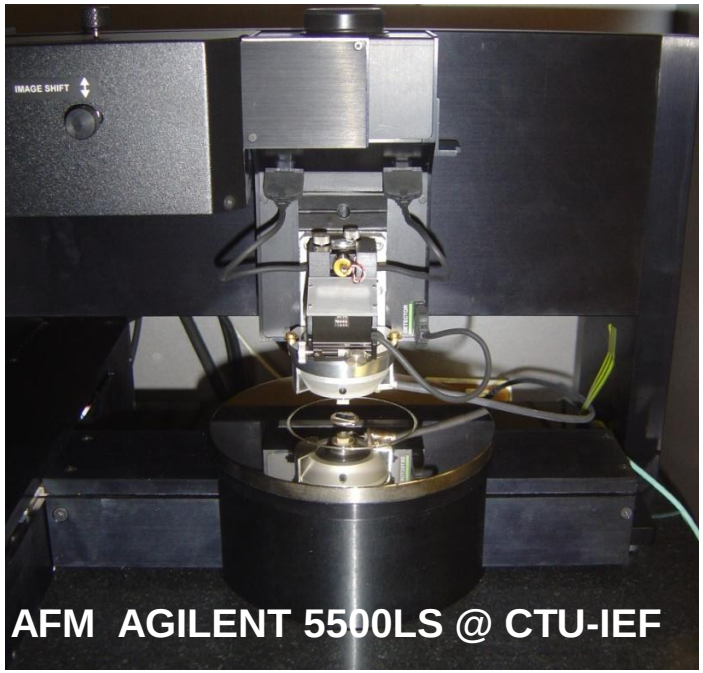


Mesures des profils de dopage

- Contrôle du process de fabrication
- Données expérimentales comme entrées dans les simulations TCAD

Outils expérimentaux pour la caractérisation des pixels (5)

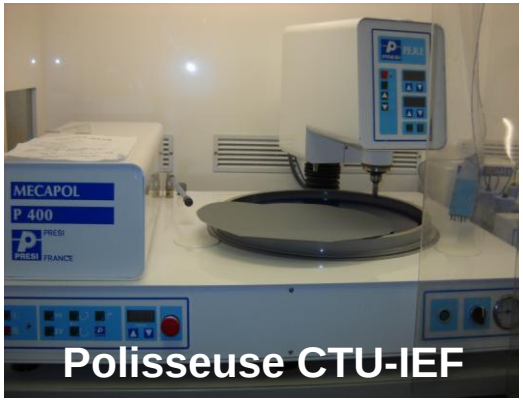
- Méthodes expérimentales en collaboration avec d'autres laboratoires
  - Scanning Spreading Resistance Microscopy (système AFM avec des pointes conductrices) – profils de densités des charges en profondeur



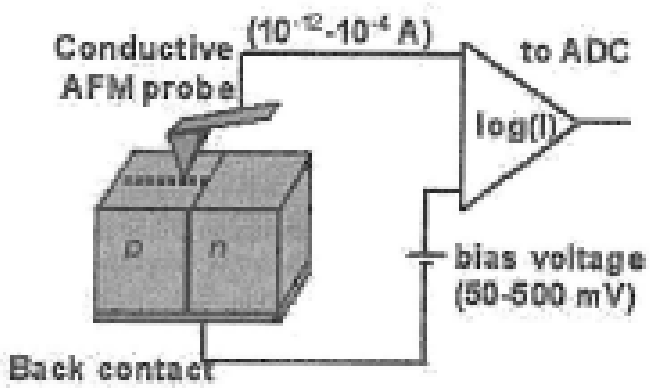
AFM AGILENT 5500LS @ CTU-IEF

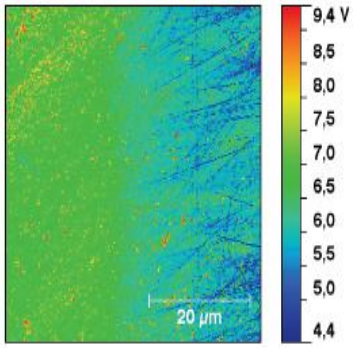
- *Méthode développée en collaboration avec CTU-IEF, Orsay*
- Préparation des échantillons par polissage méchano-chimique

Porte- échantillon pour polissage en biseau conçu et fabriqué au LAL

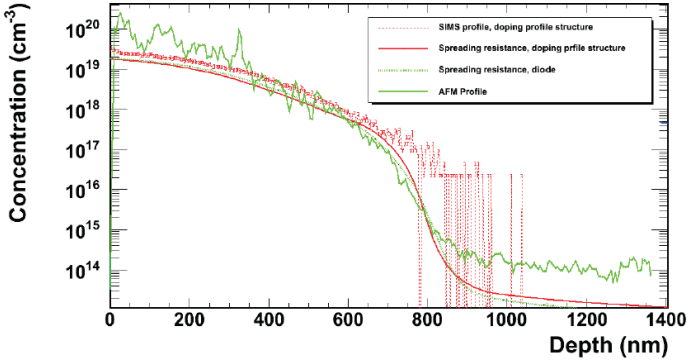


Polisseuse CTU-IEF





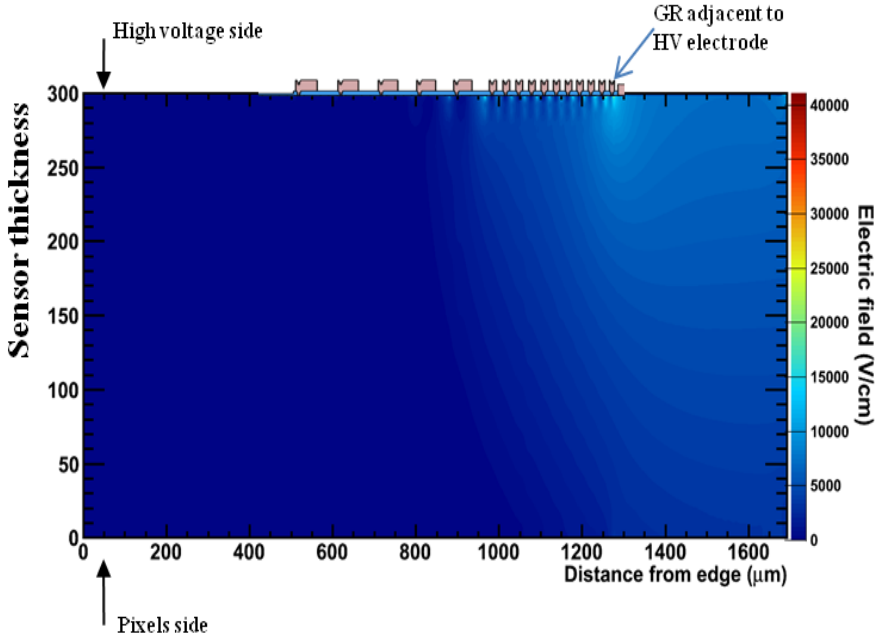
N+ implant

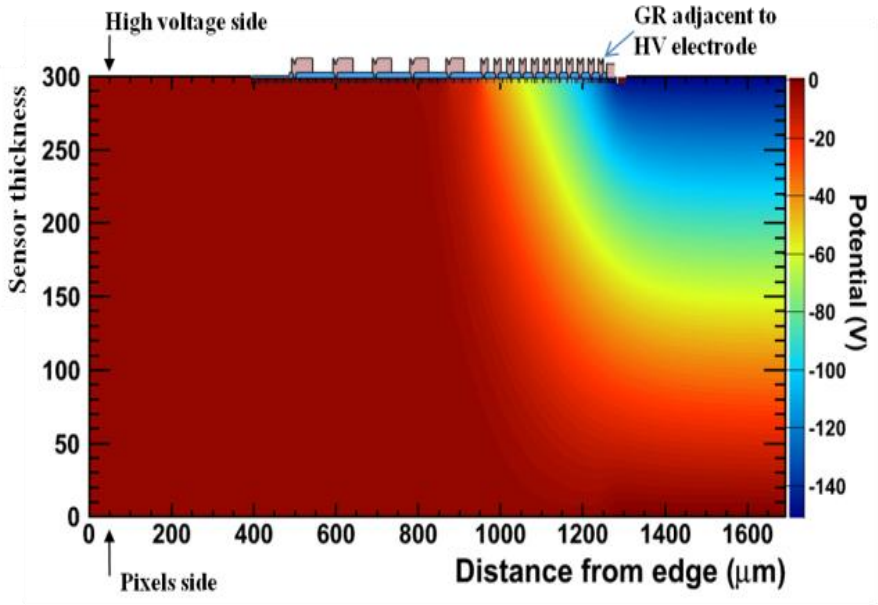


Simulations TCAD

- TCAD SILVACO – simulations 2D
- Prévisions rapides de la distribution des dopants et du fonctionnement des dispositifs
- Simulation du comportement électrique des capteurs:
  - avec des géométries optimisées (réduction des zones inactives)
  - avant et après irradiations
- Conception des nouvelles générations de capteurs silicium
  - fortement segmentés et durcis aux radiations

- TCAD Synopsis – simulations 3D





ATF2 Beam halo and Compton electron Diamond sensor project

Diamond sensors → compact, fast, radiation hard, profile measurements
Providers (presently) : Element Six Ltd CEA-LIST
Post-processing and packaging : GSI-Darmstadt CEA-LIST Systrel-Serma
Support : IN2P3 & P2IO, LAL electronics, mechanics & ATLAS-SLHC groups
Personnel : 1 DR, 2 students, 4 engineers, pending application for a post-doc
Planning : design , initial tests (2012), version 1 full detector production &test (mid-2013), install@KEK (Fall 2013)

Location for beam halo measurement in ATF2

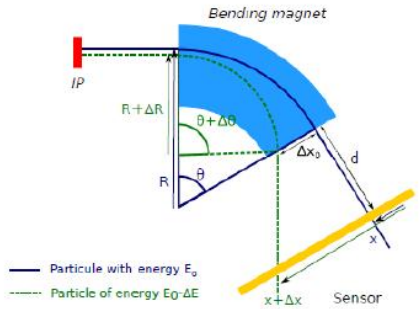
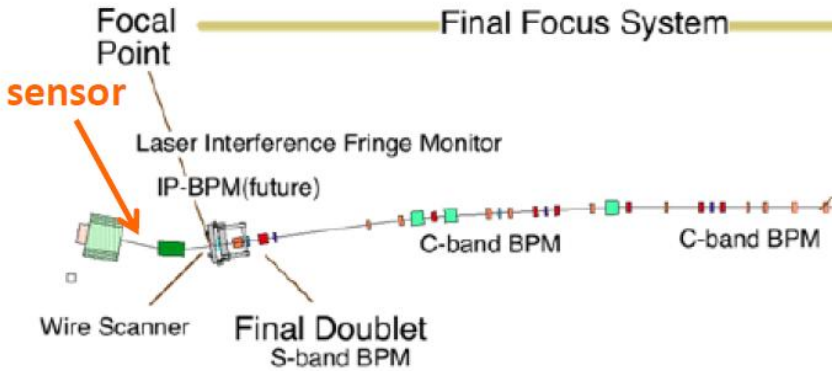
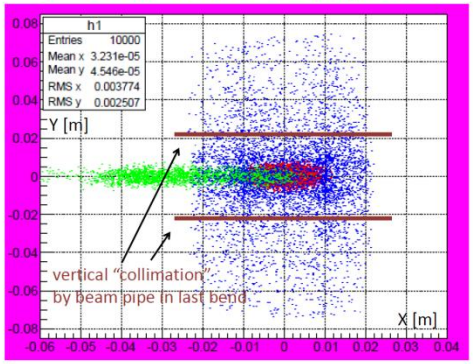
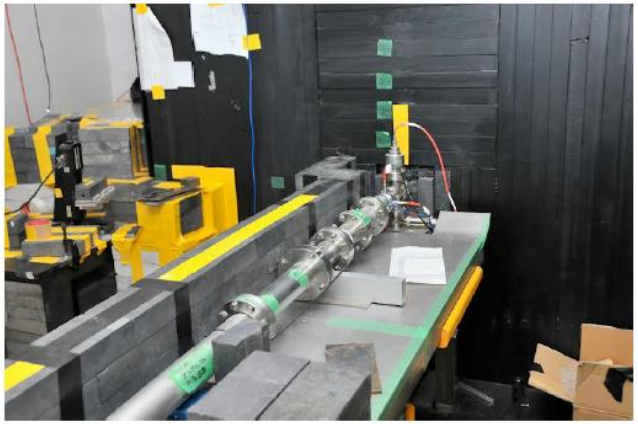


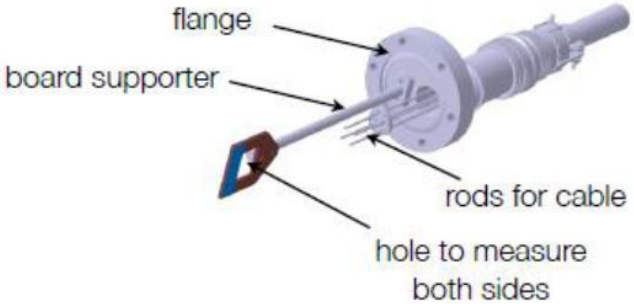
Figure: Positionning of the sensor

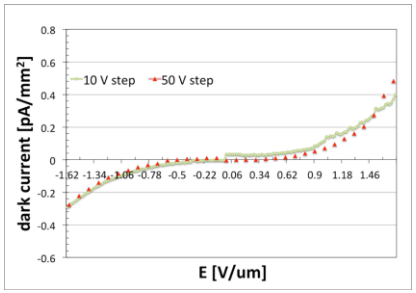


Beam halo Compton





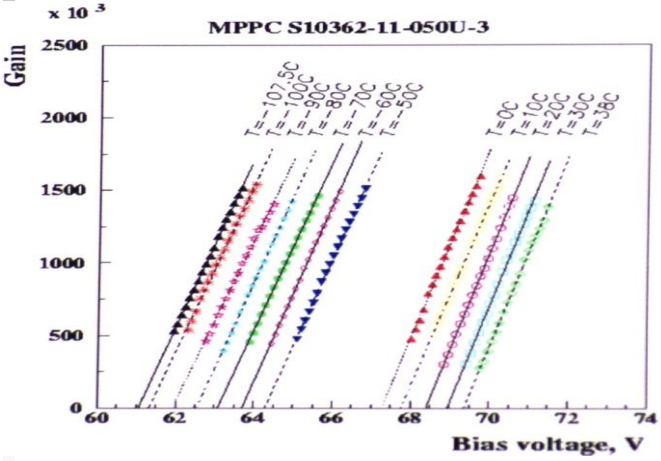


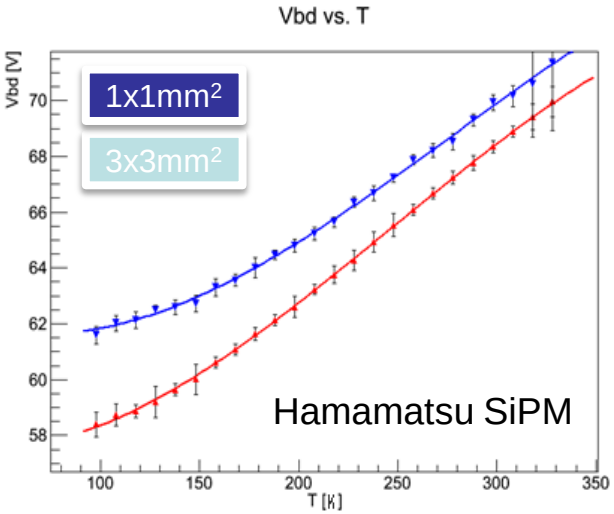


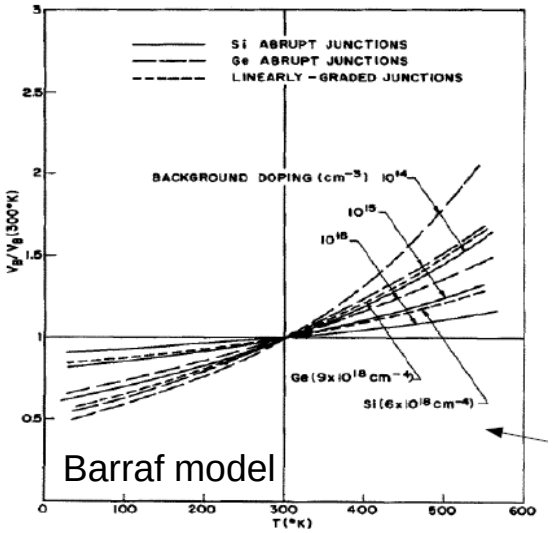
Capteurs Silicium Photomultiplicateurs (SiPM)

Mesures des SiPM en fonction de la température, de -175°C à +55°C

- permet un étude des paramètres électriques spécifiques aux semi-conducteurs et leur variation en fonction de la température
  - tension de claquage
  - génération thermique des porteurs
  - afterpulses
  - cross-talk
  - etc





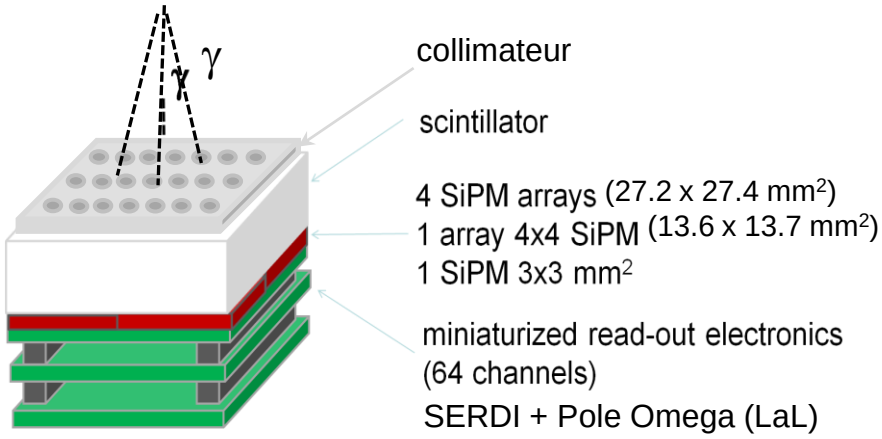


Crowell & Sze, Appl. Phys. Lett. Vol. 9, Nr. 6, 1966

SiPM dans l'imagerie médicale (collaboration avec l'IMNC)

- Système de détection per-opératoire: traitement chirurgical du cancer assisté par radioguidage
  - Guider en temps réel le chirurgien dans la localisation et l'ablation des tissus tumoraux

Module élémentaire de la gamma caméra SIPMED



Camera SIPMED:
- 2 x 2 modules élémentaires
- champs de vue: d'environ 5x5 cm²
- dimensions géométriques
  - largeur 6 cm
  - épaisseur 5 cm
  - poids < 700 gr
- 256 voies de lecture